



Received: 2024/06/12
Revised: 2024/06/21
Accepted: 2024/08/24
Published: 2024/09/30

***Corresponding Author:**

Yeondeok Yoo
PGM RF & IIR Seeker R&D Lab, LIG Nex1
207, Mabuk-ro, Giheung-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do,
Republic of Korea
Tel: +82-31-326-9491
E-mail: yeondeok.yoo@lignex1.com

Abstract

다중 센서 정렬이란 다중 센서(IR, visible)에서 얻은 각각의 영상의 픽셀이 대응되도록 정렬하는 것을 의미한다. 모든 오차를 고려하여 다중 센서를 정렬하기엔 한계가 있으며 이동, 운용 간 오차가 발생할 가능성이 있어 이에 대한 능동적인 대처가 어렵다. 줌 렌즈를 사용하는 다중 센서를 효율적으로 정렬하기 위해 가시광 이미지 센서의 windowing 기법을 이용한 실시간 다중 줌 센서 정렬 방법을 제안한다.

Multi sensor alignment means aligning the pixels of each image obtained from each sensor(IR, visible) so that they correspond. It becomes difficult to align multiple sensors in consideration of all errors. There is a possibility of error by movement or operation. So, it is difficult to correct errors immediately. This study presents a method for real-time multi sensor alignment using the Windowing technique of Visible image sensor to solve this problem.

Keywords

실시간(Real-time), 영상센서(Image Sensor), 줌 렌즈(Zoom Lens), 다중 센서 정렬(Multi Sensor Alignment), 윈도우(Windowing)

Acknowledgement

이 논문은 2024년도 한국해군과학기술학회 하계학술대회 발표 논문임

이 논문은 2024년 정부(방위사업청)의 재원으로 국방과학연구소의 지원을 받아 수행된 연구임

가시광 이미지 센서의 Windowing 기법을 이용한 실시간 다중 줌 센서 정렬

Real-time Multi Zoom Sensor Alignment Using Windowing Technique of Visible Image Sensor

유연덕^{1*}, 김홍락², 박진호², 박성현¹

¹LIG넥스원 PGM 탐색기연구소 선임연구원

²LIG넥스원 PGM 탐색기연구소 수석연구원

Yeondeok Yoo^{1*}, Hong-Rak Kim², Jin-ho Park², Sunghyun Park¹

¹Research engineer, PGM RF & IIR Seeker R&D Lab, LIG Nex1

²Chief research engineer, PGM RF & IIR Seeker R&D Lab, LIG Nex1

1. 서론

다중 센서 정렬이란 다중 센서(IR, visible)에서 동일한 대상에 대한 각 영상의 픽셀이 좌표 간 대응되도록 정렬하는 것을 의미한다. 정렬 방법에는 다중 센서 중 하나의 센서를 기준으로 다른 센서가 동일한 위치가 되도록 직접 이동시켜 정렬시키는 방법과 알고리즘을 통해 정렬시키는 방법 등이 있다.

파장대역을 달리하는 다중 센서 영상은 동일한 렌즈를 이용하여 획득하기 어렵다. 따라서 동일한 대상에 대해 초점 거리나 영상 크기, 영상의 획득 위치 및 방향 등에서 동일한 영상이 획득되기 어렵다. 그러므로 다중 센서 영상의 결합을 위해서는 획득된 다중 센서 영상 간의 정렬이 필수적이다.

줌 렌즈는 배율 또는 유효초점거리가 연속적으로 변해도 상면이 고정되는 광학계로 정의된다[1]. 줌 렌즈는 단초점 렌즈에 비해 비교적 많은 렌즈가 사용되며 이로 인해 공차 항목이 많아진다[2]. 이러한 오차를 모두 고려하여 정렬하기엔 한계가 있으며 이동, 운용 간 오차가 발생할 가능성이 있어 이에 대한 능동적인 대처가 어렵다. 이를 해결하기 위해 가시광 센서의 windowing 기법을 이용하고자 한다. 가시광 이미지 센서는 전체 영역에 걸쳐 개별 픽셀 데

이터에 접근이 가능하기 때문에 픽셀 중 선택된 부분만 읽고 처리가 가능하다.[3] 이렇게 선택된 부분의 픽셀만 읽어 영상을 구성하는 기술을 windowing 또는 window-of-interest readout이라고 한다. 이미지 센서의 전체 픽셀 중 일부에만 관심이 있거나, 필요한 자원을 최적화하고 이미지 처리 및 분석 속도를 향상시키기 위해 사용되기도 한다.

Fig. 1은 x좌표 windowing 동작을 나타낸 것이다. Windowing 전 영역을 노란색 사각형, x좌표 windowing 후의 영역이 빨간색 사각형이다. 영상 시작 픽셀 좌표를 (a, b) 에서 $(a+x, b)$ 로 이동하는 방식으로 x좌표 windowing이 동작된다.

초록색 원을 기준 대상체라고 했을 때, windowing 전 영역에서는 중앙에 위치하지만, windowing 후 영역에서는 좌측에 위치하게 된다. 즉, 영상 시작 픽셀 좌표가 x만큼 움직이면, windowing 후 기준 대상체는 -x만큼 위치가 이동하게 된다.

Fig. 2는 y좌표 windowing 동작을 나타낸 것이다. 영상 시작 픽셀 좌표를 (a, b) 에서 $(a, b+y)$ 로 이

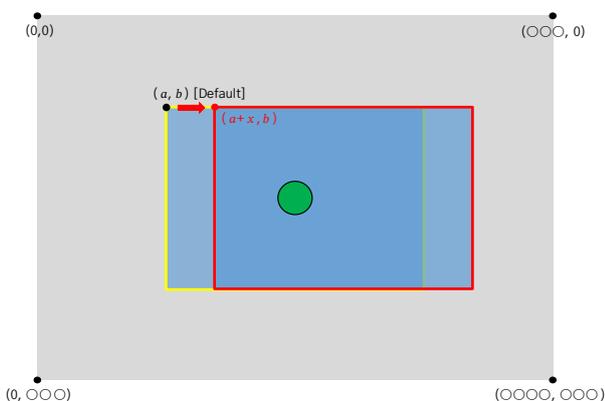


Fig. 1. x-axis windowing

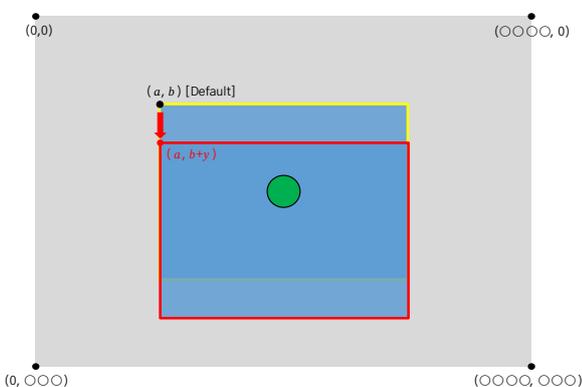


Fig. 2. y-axis windowing

동하는 방식으로 y좌표 windowing이 동작된다.

x좌표 windowing과 마찬가지로, windowing 전 영역에서는 중앙에 위치하지만, windowing 후 영역에서는 상단에 위치하게 된다. 즉, 영상 시작 픽셀 좌표가 y만큼 움직이면, windowing 후 기준 대상체는 -y만큼 위치가 이동하게 된다.

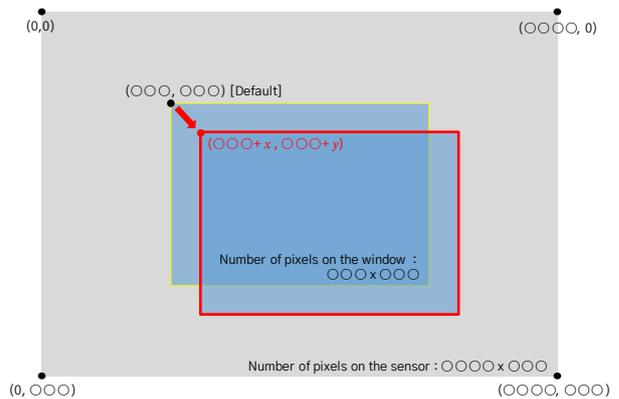


Fig. 3. Windowing of visible image sensor

선택된 부분의 픽셀로 영상을 구성할 수 있는 점을 활용하여 정렬오차 발생 시, windowing 기법을 통해 정렬 오차를 보정하는 방법을 제안한다.

2. 시험 구성

다중 줌 센서 정렬에 사용한 줌 렌즈 및 이미지 센서의 사양은 Tables 1-3과 같다.

Table 1. Specification of zoom lens

Name	Wavelength	Focal length
680204	3.4 μm - 5.0 μm	15 mm - 300 mm
TL936A-R6	440 nm - 950 nm	9 mm - 36 mm

Table 2. Specification of IR image sensor

Item	Value
Company	OOOOOOOO
Name	OOOOOOO
Number of pixels	OOO \times OOO
Wavelength	O μm - O μm
Size of pixel	O μm \times O μm

Table 3. Specification of VIS image sensor

Item	Value
Company	OOOOOO
Name	OOOOOO
Number of pixels	OOOO × OOO
Wavelength	Visible
Size of pixel	○ μm × ○ μm

시험 구성은 다음과 같으며 약 5.4 km 떨어진 건물을 기준 대상으로 하였다.

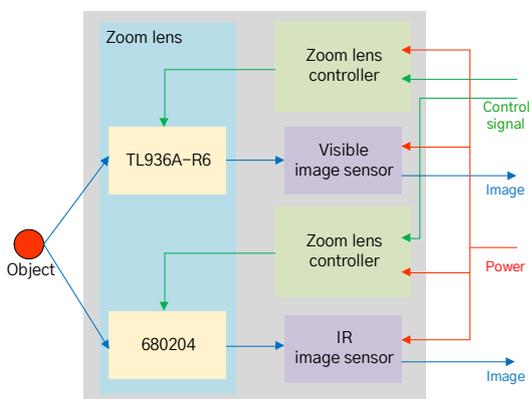


Fig. 4. Diagram of test

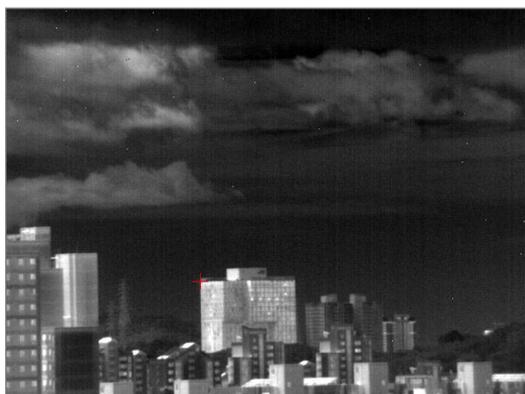


Fig. 5. Object of test

3. Windowing 좌표 계산 자동화

줌을 통해 초점거리가 변화하게 되면 그에 따라 windowing을 위한 좌표가 변경된다. 이때마다 육안으로 확인하며 다중 센서 정렬을 하는 것은 매우 비효율적이다.

정렬 자동화를 위해 줌 step마다 기준 대상체의 좌표를 모두 측정한다. 실제값과 오차가 최소가 되도록 구간을 나누고 구간별 추세선 식을 구한다. 이를 통해 줌 step 별 windowing 값을 자동 계산할 수 있다.

먼저, 센서 정렬의 기준이 되는 IR 이미지 센서에서 기준 대상체의 좌측 상단의 x, y 좌표를 측정하고 구간별 추세선을 구한다(Table 4 및 Fig. 6 참조). 마찬가지로 동일한 기준 대상체와 동일한 방법으로 가시광 이미지 센서에 대해서 x, y 좌표와 구간별 추세선을 구한다(Table 5 및 Fig. 7 참조). 다음으로 두 이미지 센서 간 x 좌표 오차와 y 좌표 오차를 구하고, 이에 대한 구간별 추세선을 구한다(Tables 6-7 및 Figs. 8-9 참조).

Table 4. (IR) x and y coordinate according to zoom step

Zoom step	x value	Trend line of x value	x value error	y value	Trend line of y value	y value error
19500	180	180.5388	-0.5388	306	305.2187	0.7813
23075	211	209.8005	1.1995	294	294.8713	-0.8713
26470	233	233.6607	-0.6608	286	286.4340	-0.4340
30390	250	250.6854	-0.6854	279	277.9450	1.0550
32520	260	259.9164	0.0836	274	273.7810	0.2190
33285	264	263.0849	0.9151	272	272.3518	-0.3518
34420	268	267.6541	0.3460	269	270.2907	-1.2907
35290	271	271.0555	-0.0556	268	268.7563	-0.7563
37300	278	278.6039	-0.6040	267	265.3513	1.6487

Table 5. (VIS) x and y coordinate according to zoom step

Zoom step	x value	Trend line of x value	x value error	y value	Trend line of y value	y value error
36	307	306.9924	0.0076	239	239.0206	-0.0206
336	302	302.0550	-0.0550	241	240.8497	0.1503
536	298	297.9066	0.0934	243	243.2558	-0.2558
836	290	290.0918	-0.0918	248	247.7523	0.2477
1036	284	283.9633	0.0367	251	251.1079	-0.1079
1436	271	271.0358	-0.0358	259	258.9305	0.0695
1936	248	248.0003	-0.0003	271	270.9999	0.0001
2336	225	225.0006	-0.0006	283	282.9999	0.0001
2936	180	180.0012	-0.0012	306	305.9997	0.0003

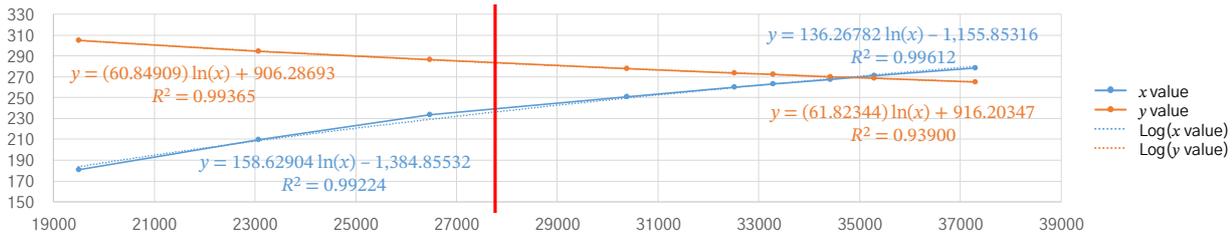


Fig. 6. (IR) trend line of x and y coordinate

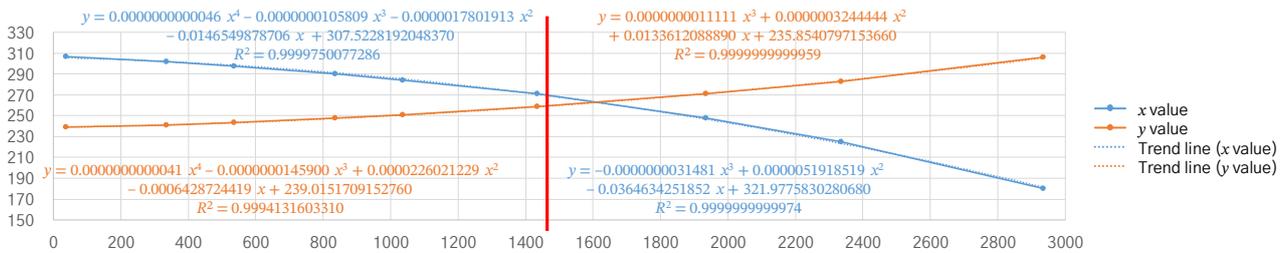


Fig. 7. (VIS) trend line of x and y coordinate

Table 6. Error of x coordinate between IR to VIS

IR zoom step	VIS zoom step	IR x value	VIS x value	x error	x error trend line
37300	36	278.6039	306.9924	-28.3885	-28.2581
36400	136	275.2756	305.4717	-30.1961	-30.1872
35790	236	272.9726	303.8402	-30.8676	-30.9046
35290	336	271.0555	302.0550	-30.9994	-31.0136
34840	436	269.3067	300.0841	-30.7773	-30.7120
34420	536	267.6540	297.9066	-30.2525	-30.0920
34010	636	266.0211	295.5127	-29.4916	-29.1944
33615	736	264.4292	292.9037	-28.4745	-28.0943
33285	836	263.0848	290.0917	-27.0069	-27.0355
32925	936	261.6030	287.1002	-25.4972	-25.7832
32520	1036	259.9164	283.9633	-24.0469	-24.3265
32075	1136	258.0388	280.7265	-22.6876	-22.7849
31575	1236	255.8979	277.4461	-21.5482	-21.3190
31010	1336	253.4374	274.1897	-20.7522	-20.3217
30390	1436	250.6854	271.0357	-20.3503	-20.5373
29715	1536	247.6246	266.8105	-19.1859	-19.2127
28960	1636	244.1175	262.4346	-18.3170	-18.2154
28165	1736	240.3244	257.8535	-17.5290	-17.6701
27330	1836	236.2234	253.0484	-16.8249	-16.7362
26470	1936	233.6607	248.0003	-14.3396	-14.3602
25605	2036	227.8853	242.6904	-14.8050	-14.8028
24745	2136	221.9466	237.0997	-15.1531	-15.1619
23895	2236	215.8705	231.2094	-15.3389	-15.3179
23075	2336	209.8004	225.0006	-15.2001	-15.2208
22270	2436	203.6279	218.4544	-14.8264	-14.8330
21485	2536	197.3899	211.5518	-14.1619	-14.1236
20735	2636	191.2134	204.2742	-13.0607	-13.0936
19995	2736	184.8963	196.6024	-11.7061	-11.6966
19600	2836	181.4279	188.5177	-7.0898	-7.0898
19500	2936	180.5387	180.0012	0.5375	0.5375

Table 7. Error of y coordinate between IR to VIS

IR zoom step	VIS zoom step	IR y value	VIS y value	y error	y error trend line
37300	36	265.3513	239.0206	26.3306	26.1471
36400	136	266.8526	239.3104	27.5421	27.8301
35790	236	267.8915	239.9432	27.9482	28.1154
35290	336	268.7562	240.8496	27.9066	27.9260
34840	436	269.5451	241.9703	27.5747	27.4845
34420	536	270.2906	243.2557	27.0348	26.8821
34010	636	271.0272	244.6661	26.3610	26.1529
33615	736	271.7453	246.1717	25.5736	25.3505
33285	836	272.3517	247.7523	24.5994	24.6274
32925	936	273.0202	249.3978	23.6223	23.8061
32520	1036	273.7810	251.1078	22.6731	22.8697
32075	1136	274.6279	252.8918	21.7360	21.8634
31575	1236	275.5937	254.7692	20.8244	20.8135
31010	1336	276.7035	256.7691	19.9344	19.8051
30390	1436	277.9450	258.9304	19.0145	19.0180
29715	1536	279.3257	261.1688	18.1568	18.1471
28960	1636	280.9076	263.4466	17.4610	17.4614
28165	1736	282.6187	265.8399	16.7787	16.7959
27330	1836	284.4686	268.3554	16.1131	16.1263
26470	1936	286.4339	270.9999	15.4340	15.4312
25605	2036	288.4762	273.7799	14.6963	14.6874
24745	2136	290.5762	276.7021	13.8741	13.8645
23895	2236	292.7248	279.7732	12.9516	12.9314
23075	2336	294.8712	282.9998	11.8714	11.8830
22270	2436	297.0540	286.3887	10.6652	10.6791
21485	2536	299.2598	289.9464	9.3133	9.3080
20735	2636	301.4439	293.6797	7.7641	7.7886
19995	2736	303.6777	297.5953	6.0824	6.0634
19600	2836	304.9042	301.6997	3.2044	3.2044
19500	2936	305.2186	305.9997	-0.7810	-0.7810

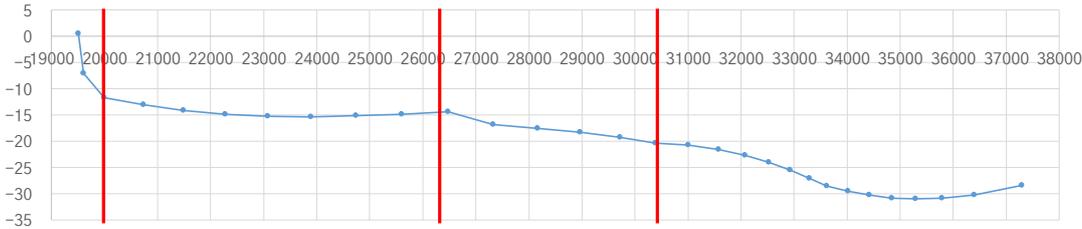


Fig. 8. Trend line of x coordinate error

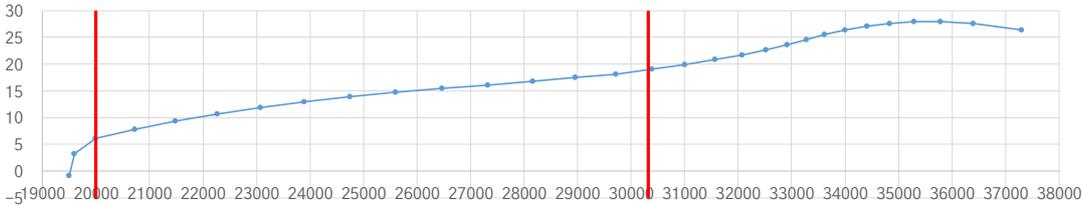


Fig. 9. Trend line of y coordinate error

위에서 구한 추세선을 통해 모든 줌 step에서 오차가 얼마나 발생하였는지 계산할 수 있다. 발생한 오차만큼 좌우상하로 windowing하여 두 센서 간 오차를 보정할 수 있다.

4. Windowing 전후 영상 비교

Fig. 10은 windowing 전, 적외선 영상과 가시광 영상이다. 초록색 사각형과 붉은색 십자 표시는 적외선 영상과 가시광 영상 모두 동일한 위치에 있다. 초록색 사각형 안의 기준 대상체 건물을 비교해보면, 적외선 영상에서는 중앙에 위치하지만 가시광 영상에서는 우측 상단에 위치하는 것을 확인할 수 있다. 이는 IR 이미지 센서와 가시광 이미지 센서로부터 얻은 영상의 정렬이 맞지 않는다는 것을 의미한다.



Fig. 10. Image before windowing

Fig. 11은 x 좌표 windowing 동작 후의 영상이다. 초록색 사각형 안의 기준 대상체 건물이 좌측으로 이동한 것을 확인할 수 있다. 이는 영상의 시작지점을 기존 시작지점으로부터 우측으로 설정하여 얻은 영상이며 windowing을 통해 위치를 변경할 수 있음을 보여준다.



Fig. 11. Image after x axis windowing

Fig. 12는 y 좌표 windowing 동작 후의 영상이다. 초록색 사각형 안의 기준 대상체 건물이 하단으로 이동한 것을 확인할 수 있다. 이는 영상의 시작지점을 기존 시작지점으로부터 상단으로 설정하여 얻은 영상이다. 적외선 영상과 가시광 영상을 비교했을 때, 초록색 사각형 안의 건물의 위치가 같아졌음을 확인할 수 있다. 이는 IR 이미지 센서와 가시광 이미지 센서로부터 얻은 영상이 정렬되었음을 의미한다.



Fig. 12. Image after y axis windowing

5. 결론

줌 렌즈의 초점거리가 변경될 때 다중 센서 정렬 오차가 발생한다. 이때 발생한 오차를 가시광 이미지 센서의 Windowing 기법을 통해 영역을 이동하여

오차를 보정하는 방법을 제안하고 실제 시험을 통해 실시간 보정이 가능함을 보였다. 또한, 줌 step 별 두 센서 간 좌표 차이의 추세선을 통해 보정 자동화가 가능함을 보였다.

참고문헌

- [1] K. Yamaji, "Design of zoom lenses," Progress in Optics VI, E. Wolf, ed., 1967, pp. 105-170.
- [2] Jae Myung Ryu, "Focus-adjustment Method for a High-magnification Zoom-lens System," Korean Journal of Optics and Photonics, Vol. 34, No. 2, April 2023, pp. 66-71.
- [3] Litwiller, Dave. "Ccd vs. cmos," Photonics spectra 35.1, 2001, pp. 154-158.